Beugung von Licht – Datenträger im Vergleich

Aufgaben

1 Datenträger wie CDs, DVDs und Blu-ray Discs besitzen unterschiedliche Speicherkapazitäten. Sie bestehen aus einer Kunststoffscheibe, in denen die Informationen in Rillen gespeichert werden, die spiralförmig von innen nach außen verlaufen. Die Oberfläche wird mit einer reflektierenden Metallschicht überzogen. Die Rillen bilden dann ein Reflexionsgitter. Zur Bestimmung des Rillenabstands wird in einem Versuch (Material 1) mit Laserlicht der Wellenlänge λ durch das Loch eines Schirms ein Ausschnitt mit mehreren Rillen des jeweiligen Datenträgers beleuchtet und das entstehende Interferenzmuster auf dem Schirm vermessen. In den folgenden Aufgaben wird zur Vereinfachung angenommen, dass die Rillen konzentrische Kreise bilden, eventuelle Wellenlängenänderungen durch Brechung werden vernachlässigt.

1.1 Erläutern Sie allgemein das Zustandekommen von Interferenzmustern bei optischen Gittern mit dem Huygens'schen Prinzip.

(4 BE)

1.2 Erläutern Sie mithilfe der Materialien 1 und 2, dass zur Bestimmung des Maximums erster Ordnung im Abstand *a* zum Maximum nullter Ordnung die Formeln $\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{g}$ und $\tan(\alpha) = \frac{a}{e}$ gelten.

(5 BE)

1.3 In einer Versuchsreihe mit dem Versuchsaufbau aus Material 1 werden unter gleichen Bedingungen nacheinander jeweils eine CD und eine DVD mit Laserlicht der Wellenlänge $\lambda = 532\,\text{nm}$ untersucht. Dabei beträgt der Abstand zwischen Schirm und Datenträger $e = 0{,}5\,\text{m}$. Bei der CD erscheinen die Maxima erster Ordnung 17,6 cm und bei der DVD 58,5 cm vom Maximum nullter Ordnung entfernt.

1.3.1 Berechnen Sie für die jeweiligen Datenträger den Rillenabstand *g*.

(5 BE)

1.3.2 Ersetzt man den Datenträger bei diesem Versuch durch eine Blu-ray Disc, so sind unabhängig von der Größe des Schirms keine Maxima erster oder höherer Ordnung zu beobachten. Untersuchen Sie, welcher Rillenabstand auf diesem Datenträger maximal vorhanden ist.

(4 BE)

1.4 Die Anzahl der Pits und Lands (Gruben und Stege) gibt eine Information über die Speicherkapazität des Datenträgers (Material 3). Dabei befinden sich diese auf einer Kreisringfläche mit dem Innenradius $r_i = 2{,}2\,\text{cm}$ und dem Außenradius $r_a = 5{,}8\,\text{cm}$. Für die weiteren Rechnungen wird angenommen, dass die Längen der einzelnen Pits und Lands jeweils gleich sind und bei der CD konstant 1,2 µm und bei der DVD konstant 0,40 µm betragen. Der Rillenabstand soll für die CD $g_{CD} = 1{,}6\,\mu\text{m}$ und für die DVD $g_{DVD} = 0{,}70\,\mu\text{m}$ betragen.

1.4.1 Berechnen Sie für jedes Speichermedium die Anzahl *N* der Kreise.

(3 BE)

1.4.2 Begründen Sie, dass sich die Gesamtlänge L aller Spurrillen mithilfe der Formel

$L = N \cdot 2\pi \cdot \frac{r_i + r_a}{2}$ berechnen lässt.

Berechnen Sie für beide Speichermedien jeweils die Anzahl der Pits bzw. der Lands und vergleichen Sie die Speicherkapazitäten beider Medien.

(7 BE)

1.5 Wird eine Rillenstruktur (Material 4) der Tiefe 125 nm, bei der sowohl die Erhebungen als auch die Vertiefungen das Licht reflektieren, senkrecht zur Oberfläche mit Licht verschiedener Wellenlängen bestrahlt, so besitzt auch das in Einstrahlrichtung reflektierte Licht einen Gangunterschied.
Untersuchen Sie, welche Wellenlängen aus dem für den Menschen sichtbaren Bereich sich nach der Reflexion durch Überlagerung in Einstrahlrichtung auslöschen. Geben Sie für diese Wellenlängen die Farben an.

(5 BE)

2 Beugungsphänomene können auch an einzelnen Spalten oder kreisförmigen Öffnungen beobachtet werden.

2.1 Vergleichen Sie das Beugungsbild des Einzelspalts mit dem Beugungsbild eines optischen Gitters.

(4 BE)

2.2 Erklären Sie anhand einer geeigneten Skizze, dass für den Winkel α, unter dem das Minimum erster Ordnung bei Beleuchtung eines Spalts der Breite d mit Licht der Wellenlänge λ erscheint, der Zusammenhang $\sin(\alpha) = \frac{\lambda}{d}$ besteht.

(5 BE)

2.3 Berechnen Sie für $d = 0{,}8\ \mu\text{m}$ und $\lambda = 532\ \text{nm}$ den Abstand der beiden Minima erster Ordnung auf einem Schirm, der sich im Abstand von 50 cm zum Spalt befindet.

(3 BE)

2.4 Bei einer kreisförmigen Öffnung mit dem Durchmesser d treten kreisförmige Beugungsmuster auf. Für den Winkel α, unter dem das Minimum erster Ordnung auftritt, gilt die Gleichung

$\sin(\alpha) = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{d}$.

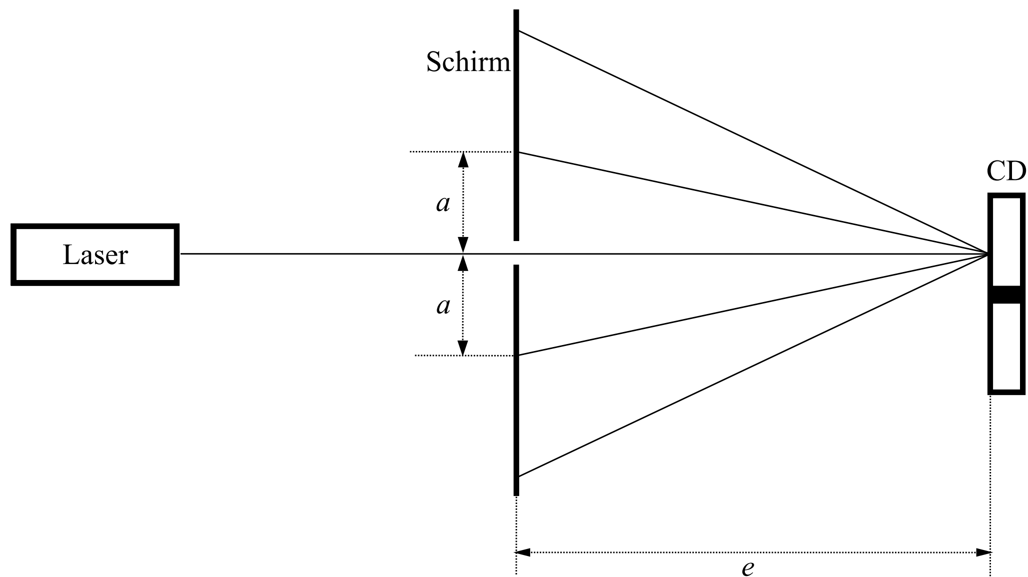
Strahlen zwei ausreichend helle Punktquellen Licht gleicher Wellenlänge durch eine kreisförmige Öffnung (Material 5), so lassen sich die Hauptmaxima der beiden Interferenzmuster auf einem Schirm grundsätzlich dann noch unterscheiden, wenn für beide Lichtquellen die Bedingung erfüllt ist, dass die Position des Minimums erster Ordnung der einen Lichtquelle gleich der Position des Maximums nullter Ordnung der anderen Lichtquelle ist.

Zwei Punktquellen senden beide Licht der Wellenlänge $\lambda = 600\ \text{nm}$ aus und befinden sich in $y = 20\ \text{m}$ Entfernung vor einer kreisförmigen Öffnung mit dem Durchmesser $d = 4\ \text{mm}$.
Untersuchen Sie, wie groß der minimale Abstand a der beiden Lichtquellen sein kann, damit sich die Hauptmaxima nach der genannten Bedingung grundsätzlich noch unterscheiden lassen.

(5 BE)

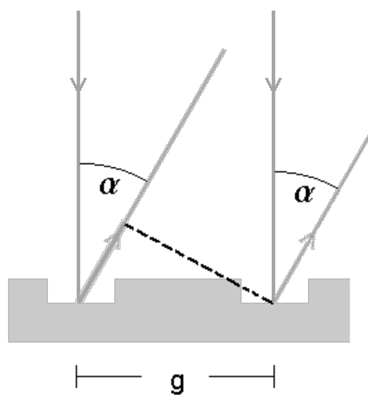
Material 1

Versuchsaufbau



Material 2

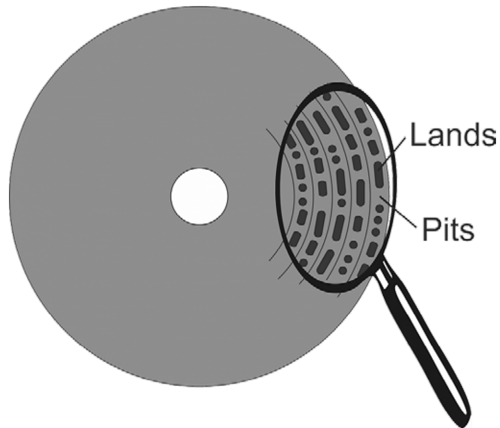
Schema zur Erklärung der Beugungsmaxima



URL: http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/wellenoptik/bilder/sk7_8.png (abgerufen am 07.02.2021).

Material 3

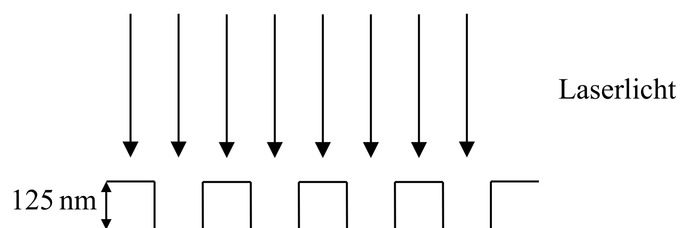
Pits und Lands auf einer CD



URL: https://www.ulfkonrad.de/wp-content/uploads/2020/05/CD-Aufbau-03-768x668.png (abgerufen am 29.03.2021).

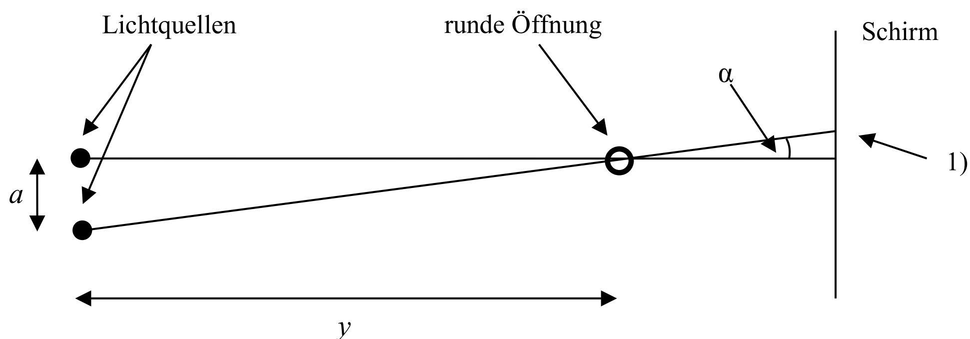
Material 4

Reflexion an der Rillenstruktur



Material 5

Nicht maßstabsgetreue Skizze zu Aufgabe 2.4



1) Die Position des Maximums nullter Ordnung der unteren Lichtquelle ist gleich der Position des Minimums erster Ordnung der oberen Lichtquelle.